1A

УДК 681.518.9; 621.384.3

С.С. Анцыферов
Московский государственный институт радиотехники, электроники
и автоматики (технический университет), г. Москва, Россия
Antsyfer@yandex.ru

Общие принципы построения и закономерности функционирования интеллектуальных систем

В статье поставлена задача разработки методологии построения символистско-коннективистских интеллектуальных систем, что связано с установлением принципов и закономерностей функционирования, с определением соответствующих моделей знаний таких систем. Динамику функционирования систем предлагается оценивать с помощью энтропии как функции их состояния.

Введение

Согласно [1], перспективное направление усиления интеллектуального потенциала адаптивных информационно-распознающих систем (АИРС) связано с объединением символистского и коннективистского направлений развития теории искусственного интеллекта, т.е. с объединением логической и нейронной парадигм. Такое объединение означает возможность перехода к аппаратной реализации обучаемых АИРС нейрологического типа и может обеспечить решение задач как адаптации параметров обрабатывающих алгоритмов, так и преодоления существенной априорной неопределенности в рамках методологии структурно-стохастической обработки информации пространственно-временных полей. Символистское направление связано с развитием реляционной и объектной моделей, коннективистское – с ассоциативной моделью знаний. В связи с этим возникает необходимость поиска оптимальной структуры построения АИРС, обеспечивающей постепенный (эволюционный) переход от вычислительных механизмов Тьюринга – фон Неймана к совершенно отличным от них механизмам интеллектуальной обработки информации, т.е. к механизмам обработки знаний. Как показывает опыт проектирования АИРС – систем обработки сложных по своей структуре пространственно-временных информационных полей, именно степень эффективности обработки (процессирования) знаний определяет уровень интеллектуального потенциала этих систем.

Знания в общем случае являются системой представлений о предметной области в виде сущностей – явлений, процессов, их проявлений в форме фактов и их отношений или объектов и их связей. Знания отличаются от обычных данных наличием специфической структуры и дополнительными свойствами, среди которых можно выделить такие, как интерпретируемость, наличие классифицирующих отношений и ситуативных связей. В знаниях всегда присутствует содержательная информация, которая интерпретируется соответствующей программой. Отдельные единицы знаний связываются классифицирующими отношениями, позволяющими описывать структуру знаний общими связями «класс-подкласс». При этом «класс» объединяет информацию, одинаковую для всех «подклассов» и при необходимости может передавать ее «подклассу». Совместимость отдельных событий или фактов, их одновременность, расположение в одной области

пространства определяют ситуативные связи. Они позволяют строить процедуры анализа знаний, которые очень сложно организовать при использовании обычных данных. Знания в определенной предметной области при использовании их в системе обработки объединяются в базы знаний (БЗ), подобно тому, как данные объединяются в базы данных (БД). При этом БЗ и БД рассматриваются как разные уровни представления информации. Источниками знаний являются сжатые и полные описания сущностей, представление их с использованием определенной формальной модели знаний, приемлемой для аппаратно-программной реализации. Вывод и принятие решений осуществляется процедурами поиска в пространстве состояний, учитывающих семантику (смысл) конкретной предметной области. Множества описаний состояний и условий переходов между ними, которые носят синтаксический (символьный) характер и не содержат в явном виде описания исполняющих процедур, представляют декларативные знания. Процедурные знания включают исходные состояния и явные описания процедур, обрабатывающих исходные знания в случае необходимости достижения состояния полного множества производных знаний. Это позволяет отказаться от хранения всех состояний БЗ, требуемых при выводе и принятии решений. Здесь семантика вводится в описания процедур, генерирующих синтаксические знания. Это позволяет экономить память при хранении знаний, однако возможности наполнения знаний ухудшаются. Представление знаний в интеллектуальных системах (ИС) может носить структурный или параметрический характер. Структурное представление характеризует отношения фактов или объектов. Структура знаний может изменяться, в результате происходит их конкретизация при описании заданной проблемной области. В динамических БЗ структура знаний может изменяться эволюционно или адаптивно. Параметрическое представление характеризуется фиксированной структурой и изменяемыми параметрами в фактах или объектах. Конкретизация знаний под задачу производится только настройкой параметров. Часть параметров обычно используется для настройки силы связей или отношений вплоть до их отключения.

Практическим воплощением обработки знаний стали встраиваемые в структуру АИРС экспертные системы [2-6]. Такое построение обеспечило решение ряда сложных задач медицинской практики [7], [8]. Однако обработка знаний в такого рода системах возможна только после их преобразования к представлению, принятому в механизме Тьюринга – фон Неймана, вплотную подошедшему к своей оптимальной форме. Вместе с тем, создание сетевых, удаленных друг от друга, диагностических центров с целью массового скрининга населения приводит к существенному нарастанию интенсивности информационных потоков, подлежащих обработке с помощью АИРС. Это требует, наряду с повышением интеллектуального потенциала, существенного повышения их обрабатывающих ресурсов, что может быть достигнуто, как уже отмечалось ранее, в рамках объединенного символистско-коннективистского направления. Методология построения символистско-коннективистских интеллектуальных систем (СК – ИС) не получила еще достаточного развития, поэтому задача ее разработки представляется актуальной. Разработка такой методологии предполагает установление принципов построения и закономерностей функционирования СК – ИС, а также соответствующих моделей знаний.

Принципы построения СК – ИС

Основу построения СК – ИС составляют принципы многокомпонентности и многосвязности. Будем полагать, что между элементарными компонентами (ЭК) системы могут в процессе адаптации (обучения или самообучения) устанавливаться стохастические связи (каждого с каждым), обеспечивающие их информационное взаимодействие и тем

самым решение конкретной задачи из той или иной предметной области. В состав элементарного компонента входят: основная база знаний и ряд подсистем, предназначенных для извлечения знаний, обработки внешней и внутренней информации, формирования цели, обучения и самообучения, контроля и диагностики, диалогового общения. ЭК могут функционировать как автономно, так и в интерактивном режиме. Интерактивный режим предполагает ввод задания от оператора и выдачу ЭК подтверждения о понимании задания либо запросов на уточнение непонятных моментов. Оператор имеет возможность формировать и корректировать основную и вспомогательные базы знаний ЭК. В режиме диалогового общения используется БЗ, содержащая правила анализа и синтеза естественноязыковой или графической информации в ограниченной проблемной области, а также интерпретатор, использующий эту БЗ для преобразования неформализованного задания в формализованное в рамках внутреннего языка компонента. Формирование цели связано с анализом возможности выполнения задания при существующих на данный момент ресурсах ЭК и состоянии его подсистем. Подсистема формирования цели имеет свою БЗ и интерпретатор, преобразующий формализованное задание в контрольно-диагностическую информацию для построения на языке представления знаний некоторого желаемого варианта решения. Основная БЗ, позволяющая решать некоторый заранее определенный набор задач, должна содержать формализованное в рамках метода и языка представления знаний описание (модель) реализации пространственно-временного информационного поля (ИП). Основные знания об обрабатываемом поле формируются подсистемой извлечения знаний, а дополнительные – подсистемой обучения и самообучения. Эти подсистемы должны иметь собственные БЗ и интерпретаторы для организации процессов формирования знаний и обучения. Обработка знаний осуществляется подсистемой вывода о знаниях для прогнозирования и формирования значений алгоритмических констант обрабатывающих алгоритмов (образов алгоритмов). Эта подсистема проводит сопоставление образов алгоритмов и модели информационного поля, поиск оптимального алгоритма обработки, используя для этого собственную БЗ, содержащую правила интерпретации этих знаний. Получаемые на каждом шаге интерпретации прогнозируемые значения управляющих корректирующих воздействий используются для коррекции либо модели ИП, либо алгоритмических констант с целью проверки правильности выполняемых шагов по критерию адекватности модели ИП и образов алгоритмов. При возрастании адекватности, за счет указанной обратной связи, шаг фиксируется как правильный и проводится соответствующая коррекция. Если же адекватность уменьшается, коррекция на этом шаге отменяется и ищется новый вариант решения. В процессе обработки информации (внешней и внутренней) выявляются текущие изменения интенсивности информационного потока с помощью собственных БЗ и интерпретаторов подсистем обработки. Получаемая информация используется в подсистемах извлечения знаний, контроля и диагностики.

В ходе функционирования всех ЭК, входящих в состав ИС, происходит установление межкомпонентных связей путем постоянного взаимного информирования, представляющего собой семантическую операцию, содержащую множество взаимосвязанных процедур: генерирование, передача, прием, хранение, восприятие, понимание, принятие решения. Генерирование семантической информации (SI) осуществляется семантическим источником и заключается в ее производстве и воспроизведении. Передача представляет собой пересылку (транспортировку) семантической информации. Прием семантической информации реализуется в виде операций преобразования, формирования, стробирования и пр. Хранение семантической информации основано на свойстве элементов изменять свое состояние в зависимости от внешних воздействий, устойчиво сохранять новое состояние и распознавать его. Восприятие семантической информации можно интерпретировать как синтез знаков моделей SI, хранимой в памяти ЭК, и сводится оно к

логико-вычислительным операциям. Понимание семантической информации ЭК определяется посредством семантической операции сравнения знаковых систем (внешних моделей) с соответствующими внутренними моделями – эталонами, хранимыми в памяти ЭК, и сводится оно к формально-логическим операциям. Принятие решения – акт выбора одной из заданного количества альтернатив по установленному критерию, сводится к формально-логическим операциям и реализуется программным способом или специальным логическим блоком.

Модели знаний СК – ИС

В рамках символистского направления получили развитие реляционная и объектная модели знаний. *Реляционная модель* знаний использует понятие формальной системы отношений между множеством базовых элементов; множеством синтаксических правил, позволяющих строить из множества элементов синтаксически правильные выражения; множеством априорных истинных выражений (аксиом); множеством семантических правил вывода, позволяющих расширять множество аксиом за счет других выражений. В основе реляционной модели знаний лежат теория отношений и логика. Исторически эта модель имеет корни в исчислении высказываний, от которого позже перешли к исчислению предикатов (отношений). В настоящее время, наряду с предикатной логикой, для построения реляционной модели применяется дедуктивная логика как основа системы продукций с выводом, исходя из заданной системы посылок. Наиболее часто при построении ИС используются предикатная, продукционная и лингвистическая формы реляционной модели знаний. Предикатная форма является наиболее строгой и доказательной. Она имеет мощную программную поддержку в виде универсального языка логического программирования PROLOG, фактически применяемого как оболочка для разработки логических ИС. Продукционная форма менее строгая, используется для представления знаний в виде импликативных отношений и связок И и ИЛИ между фактами. Вывод в такой системе знаний осуществляется на основе дедуктивной логики и процедур эвристического поиска. Продукционная форма также поддерживается программно-специализированными средствами типа языка разработки систем продукций OPS-5. Лингвистическая форма является развитием продукционной для применения в естественно-языковых системах и поддерживается специализированными языками типа ATNL. *Объектная модель* знаний использует понятие формальной системы, задаваемой как сеть объектов, связанных разными отношениями, и зависящей от множества классов объектов, связанных отношениями классов; множества объектов, связанных отношениями объектов; структуры классов и объектов, определяющей отношения между ними; правил преобразования объектов и вывода на сети объектов. В основе объектной модели лежат теория семантических и фреймовых сетей, а также теория акторов. При построении ИС используются семантическая, фреймовая и универсальная формы объектной модели знаний. Наиболее простая форма семантической сети часто применяется для отображения системы понятий в проблемной области и вывода в этой системе. Она поддерживается специализированными языками семантических сетей: NETL, ATNL. Фреймовая форма является мощным средством построения больших иерархических систем знаний при обработке изображений, речевых образов, процессов управления, диагностирования. Для поддержки разработки фреймовых систем используются основанные на LISP языковые средства типа FRL, FMS. Универсальная объектная форма в настоящее время быстро развивается и часто используется в практических разработках мощных распределенных сетевых систем знаний для моделирования, управления, проектирования. Программная поддержка этой формы знаний – языки типа CLOS, LOOPS, основанные на LISP, а также объектно-ориентированные языки типа Smalltalk, C^{++}.

В рамках коннективистского направления получила развитие *ассоциативная модель* знаний, использующая понятие формальной системы, задаваемой в виде ассоциативной сети представления знаний, содержащей множество узловых элементов; множество коннекций – регулируемых контактных связей между элементами; множество правил построения сети и определения параметров коннекций; правила ассоциативного вывода (процедуры процессирования знаний). В основе ассоциативной модели знаний лежат ассоциативная логика, нейродинамика и когнитология. Общим для ассоциативного подхода является представление знаний в виде ассоциативной сети узловых элементов, имеющих коннекции между собой в соответствии с решаемой задачей. Именно управляемые коннекции обеспечивают такому представлению знаний свойство ассоциативности, т.е. способности системы давать наиболее вероятные решения за счет параллельного процессирования информации, распространяемой по сети узловых элементов, с учетом силы коннекций. Ассоциативная модель знаний может проявляться в логической, нейронной и универсальной формах.

Логическая форма основана на использовании в узловых элементах сети логических вычислительных базисов: предикатного, продукционного и семантического. Наиболее часто обработка информации в элементах сети осуществляется в нечетко-логических базисах. Напомним, что в нашем случае обработка информации полей в ЭК осуществляется структурно-стохастическим методом. При этом в ЭК (узловых элементах сети) вычисляются оценки в виде вероятностных степеней принадлежности к размытым (нечетким) множества м или вероятности фактов-событий при распознавании образов полей в режиме динамических наблюдений.

Нейронная форма предполагает использование в узловых элементах сети мультипликативно-аддитивного базиса с пороговым или нелинейно-ограниченным выходом. Сила коннекций трактуется здесь как сила семантических связей нейронов и определяется только путем обучения. Нейронная форма ассоциативного отображения знаний по сравнению с простой нейронной сетью всегда структурирована, т.е. состоит из иерархически объединенных локальных нейросетей.

Универсальная форма использует базис узловых элементов сети, настраиваемый из условий наилучшего отображения системы знаний. Как правило, такая форма применяется для представления сложных систем знаний, поэтому она имеет средства структуризации. Компонентом структуры может быть объект, например, содержащий локальную систему знаний, средства наполнения или коррекции ее путем обучения, интерфейсные средства ввода – вывода и обмена с другими объектами (или ЭК). Такие системы относятся к разряду когнитивных. В настоящее время когнитивные системы ассоциативных моделей знаний интенсивно изучаются. Программная поддержка ассоциативных ИС осуществляется только специализированными инструментальными средствами: STARAN – пакет для разработки ассоциативной памяти, BRAINMAKER – пакет нейросетевой, FUZZY TECH – пакет для разработки нечетких систем.

Принятие решений в моделях знаний осуществляется путем вывода заключений с использованием определенным образом формализованных знаний о проблемной области. *Логический вывод* может быть строгим, использующим формальные системы, например, предикатного типа, и нестрогим, например, на продукциях, в котором допускаются некоторые эвристики и нет строгой формализации. Вывод на предикатах реализуется с помощью унификации, резолюции и поиска в глубину и ширину. Он автоматизирован в языке PROLOG. Для систем продукций применяется вывод по прямой и обратной цепочке (дедуктивный вывод) или на основе обобщения примеров (индуктивный вывод). *Вывод на сетях объектов* осуществляется с использованием процедур наложения,

сопоставления, наследования, передачи сообщений и специальных присоединительных процедур. *Вывод в ассоциативных сетях* производится на основе обучения с помощью многократного ассоциативного процессирования примеров правильного вывода. После обучения сеть становится способной к выводу при подаче на ее вход вектора данных (образа поля). Параллельный характер вывода приводит к значительному ускорению процесса принятия решений.

Закономерности функционирования СК – ИС

Одна из основных системных проблем, согласно [9], это проблема *целостности*, или эмерджентности, когда свойства системы все еще зависят от свойств составляющих ее элементов (ЭК), но в то же время они не являются простой суммой свойств этих элементов. Это означает, что объединенные в систему элементы утрачивают, как правило, часть своих свойств, присущих им вне системы, но, с другой стороны, элементы, попав в систему, могут приобрести новые свойства. Двойственной по отношению к закономерности целостности является закономерность *аддитивности*. Свойство физической аддитивности проявляется у системы как бы распавшейся на независимые элементы. Любая развивающаяся система находится, как правило, между состоянием абсолютной целостности и абсолютной аддитивности, при этом выделяемое состояние системы можно охарактеризовать степенью проявления одного из этих свойств или тенденцией к его нарастанию или уменьшению. Для оценки этих тенденций в работе [10] вводятся две сопряженные закономерности: прогрессирующая факторизация – стремление системы к состоянию со все более независимыми элементами; прогрессирующая систематизация – стремление системы к уменьшению самостоятельности элементов, т.е. к большей целостности. В качестве синонима целостности иногда используется термин *интегративность*. Вместе с тем некоторые исследователи [11] рассматривают интегративность как самостоятельную закономерность, объединяющую системообразующие, системоохраняющие факторы, среди которых важную роль играют неоднородность и противоречивость элементов, с одной стороны, и их взаимосвязь (взаимозависимость), с другой. Стохастические взаимосвязи между элементами системы и взаимодействие системы с внешним информационным полем могут характеризоваться закономерностями иерархической упорядоченности, такими как коммуникативность и иерархичность. Коммуникативность отражает способность системы воспринимать информацию извне и оценивать изменение интенсивности информационного потока. Иерархическая упорядоченность – это закономерность построения ИС, она помогает лучше понять и исследовать феномен сложности [12-14]. Л. фон Берталанфи [9] показал связь иерархической упорядоченности с явлениями дифференциации и негэнтропийными тенденциями, т.е. с закономерностями самоорганизации (развития) систем. Самоорганизация характеризует способность сложных систем выходить на новый уровень развития и развивать антиэнтропийные (негэнтропийные) тенденции, адаптироваться к изменяющимся условиям, преобразуя при необходимости свою структуру, сохраняя при этом определенную устойчивость. Системы, обладающие этими свойствами, являются самоорганизующимися или развивающимися.

Динамика функционирования СК – ИС

СК – ИС представляют собой сложные, иерархически организованные системы, обладающие определённой структурой. При этом важнейшее свойство структуры – относительность её устойчивости, т.е. она существует, но при этом постоянно изменяется, она динамична в силу изменения во времени свойств как отдельных элементов,

так и их взаимосвязей между собой. Системы, достигшие высокого уровня организации, обеспечивающего непрерывное изменение структуры, приобретают способность эффективно использовать информацию, сохранять (или повышать) свой уровень организации и способствовать оптимизации своей энтропии. Таким образом, под организацией СК – ИС будем понимать изменение её структуры, обеспечивающее функционирование, адекватное внешним условиям. Конкретная конфигурация структуры существует только в строго определённых условиях и в определённые временные моменты, т.е. в определённые моменты адаптации. Приняв в качестве меры организованности систем энтропию, будем в дальнейшем рассматривать её как функцию их состояния. Положим, что энтропия H является непрерывной дифференцируемой функцией, характеризующей состояние системы. Предположим, что новое состояние системы в момент времени $t+\Delta t$ является функцией её состояния в момент времени t и что изменение энтропии за время Δt пропорционально значению этого параметра в момент t:

$$\frac{dH}{dt} = kH\,, \tag{1}$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Будем полагать, что

$$k = \Delta I - \Delta J H\,, \tag{2}$$

где ΔI – приращение интенсивности информационного потока в системе;

ΔJ – приращение интенсивности использования (обработки) информационного потока.

Тогда

$$\frac{dH}{dt} = (\Delta I - \Delta J H)H = \Delta I H - \Delta J H^2\,. \tag{3}$$

Последнее соотношение представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение, которое будем рассматривать как математическую модель динамики функционирования СК – ИС. В процессе функционирования СК – ИС испытывают различного рода возмущения: непрерывное случайное или систематическое изменение внешних условий; внутренние флуктуации в самих системах в результате взаимодействия элементов. Под влиянием возмущений происходит непрерывное изменение ΔI и ΔJ, что приводит к флуктуациям энтропии ΔH.

Чтобы найти аналитическое решение уравнения (3), необходимо свести его к линейному неоднородному уравнению. Для этого производную энтропии по времени необходимо представить как

$$\dot{H} = \Delta I H - \Delta J H^2. \tag{4}$$

и сделать следующие замены

$$G = \frac{1}{H}, \quad H = \frac{1}{G}\,, \tag{5}$$

$$\dot{G} = -G^2 H^2\,, \quad \dot{H} = -\frac{\dot{G}}{G^2}\,. \tag{6}$$

После подстановки (5) и (6) в (4) получим

$$-\frac{\dot{G}}{G^2} = \Delta I \frac{1}{G} - \Delta J \frac{1}{G^2}\,. \tag{7}$$

Отсюда

$$\dot{G} = -\Delta I G + \Delta J\,. \tag{8}$$

Найдем решение однородного уравнения:

$$\dot{G} = \Delta I G\,,$$

$$\frac{dG}{G} = -\Delta I dt\,,$$

$$\ln G_{\tau_1} - \ln G_{\tau_2} = -\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta I(t)dt\,,$$

$$\ln \frac{G_{\tau_1}}{G_{\tau_2}} = -\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta I(t)dt\,,$$

$$G_{\tau_1} = G_{\tau_2} e^{-\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta I(t)dt}\,,$$

$$Q(\tau_1, \tau_2) = e^{-\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta I(t)dt}\,.$$

Общее решение уравнения (7):

$$G_{\tau_1} = Q(\tau_1, \tau_2)G_{\tau_2} - \int_{\tau_1}^{\tau_2} Q(\tau_1, t)\Delta J(t)dt\,,$$

$$G_{\tau_1} = G_{\tau_2} e^{-\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta I(t)dt} - \int_{\tau_1}^{\tau_2} e^{-\int_{t}^{\tau_1} \Delta I(t)dt} \Delta J(t)dt\,.$$

Возвращаясь к исходному уравнению (4), получим

$$H = 1 \Big/ \left[G_{\tau_2} e^{-\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta I(t)dt} - \int_{\tau_1}^{\tau_2} e^{-\int_{t}^{\tau_1} \Delta J(t)dt} \Delta J(t)dt \right], \tag{9}$$

где $G_{\tau_2} = \dfrac{1}{H_{\tau_2}}$; H_{τ_2} – начальное значение энтропии.

При $\Delta I = const$

$$H = \frac{1}{\dfrac{1}{H_{\tau_2}} e^{-\Delta I(\tau_2 - \tau_1)} - \int_{\tau_1}^{\tau_2} e^{-\Delta I(\tau_2 - t)} \Delta J(t)dt}\,. \tag{10}$$

При $\Delta I = const$ и $\Delta J = const$

$$H = \frac{\Delta I}{\Delta J} \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{\Delta I}{H_{\tau_2} \Delta J}\right) e^{\Delta I(\tau_1 - \tau_2)}}, \ \tau_1 > \tau_2; \tag{11}$$

$$\lim_{t \to \infty} H(t) = \frac{\Delta I}{\Delta J}. \tag{12}$$

Последнее означает, что энтропия не возрастает беспредельно, а ограничена сверху величиной $\frac{\Delta I}{\Delta J}$. При этом ΔI и ΔJ могут принимать как положительные, так и отрицательные значения, могут быть равными нулю. Область значения функции $H(t)$ представляет отрезок $\left[0; \frac{\Delta I}{\Delta J}\right]$. Из функционального определения энтропии как меры упорядоченности системы следует, что функция $H(t)$ должна быть всегда положительна. Решение уравнения (4) позволяет определять траектории изменения состояний систем во времени, а также условия и области устойчивого и неустойчивого функционирования.

Выводы

Разработка методологии построения СК – ИС сопряжена с установлением принципов построения, закономерностей их функционирования и соответствующих моделей знаний. Основу построения СК – ИС составляют принципы многокомпонентности и многосвязности, когда между ЭК в процессе адаптации устанавливаются стохастические информационные регулируемые связи (коннекции).

Мощным средством построения иерархических систем знаний при обработке информации пространственно-временных полей является фреймовая форма. Перспективны когнитивные системы ассоциативных моделей знаний.

Стохастические взаимосвязи между ЭК и взаимодействие СК – ИС с внешним информационным полем могут характеризоваться закономерностями иерархической упорядоченности, такими как коммуникативность и иерархичность.

В качестве меры организованности СК – ИС может быть принята энтропия как функция их состояния. Рассматривая энтропию как непрерывно дифференцируемую функцию, можно с ее помощью определять траектории изменения состояний систем во времени, а также условия и области устойчивогои неустойчивого функционирования.

Литература

1. Анцыферов С.С. Повышение интеллектуального потенциала адаптивных информационно-распознающих систем / С.С. Анцыферов // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 330-336.
2. Анцыферов Е.С. Управление качеством проектирования адаптивных информационно-распознающих систем с программируемой структурой / Е.С. Анцыферов, А.С. Сигов, Б.И. Голубь // Материалы МНТК «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения – INTERMATIC-2004». – М. : МИРЭА, 2004. – С. 193-195.
3. Экспертное управление качеством интеллектуальной продукции / Е.С. Анцыферов, А.С. Сигов, Б.И. Голубь, С.В. Ширяев // Материалы МНТК «Искусственный интеллект, интеллектуальные и многопроцессорные системы». – Таганрог ; Донецк, 2004. – Т. 2. – С. 63-67.
4. Анцыферов С.С. Управление качеством синтеза структуры адаптивных информационно-распознающих систем / С.С. Анцыферов, Е.С. Анцыферов, А.С. Сигов // Материалы МНТК «Интеллектуальные и многопроцессорные системы – ИМС – 2005». – Таганрог ; Донецк ; Минск, 2005. – Т. 1. – С. 104-109.

5. Анцыферов С.С. Системные принципы управления качеством проектирования адаптивных информационно-распознающих систем / С.С. Анцыферов, Е.С. Анцыферов, А.С. Сигов // Известия ТРТУ. – 2005. – № 100. – С. 167-174.
6. Анцыферов С.С. Методология адаптивного управления качеством наукоемкой продукции // С.С. Анцыферов, Е.С. Анцыферов, А.С. Сигов // Материалы МНТК «Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы: ИИ-ИМС 2006». – Таганрог ; Донецк ; Минск, 2006. – Т. 1. – С. 21-25.
7. Анцыферов Е.С. Вероятностное управление качеством диагностики заболеваний / Е.С. Анцыферов, С.В. Ширяев, О.П. Ленская // Доклады МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ-2004». – Владимир : ВГУ, 2004. – Кн. 1. – С. 153-156.
8. Анцыферов Е.С. Вероятностное управление качеством лечения / Е.С. Анцыферов, В.В. Лазарева, О.П. Ленская // Доклады МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ-2004». – Владимир : ВГУ, 2004. – Кн. 1. – С. 156-159.
9. Берталанфи Л. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем / Л. Берталанфи. – М. : Прогресс, 1969. – С. 23-82.
10. Холл А. Опыт методологии для системотехники / Холл А. – М. : Сов. радио, 1975.
11. Афанасьев В.Г. Проблема целостности в философии и биологии / Афанасьев В.Г. – М. : Мысль, 1984.
12. Анцыферов С.С. Структурно-стохастический метод обработки и распознавания информации тепловых изображений / С.С. Анцыферов, Н.Д. Куртев // Оптический журнал. – 1977. – Т. 64, № 2. – С. 35-37.
13. Анцыферов С.С. Формирование спектра тепловых изображений объектов и распознавание их образов / С.С. Анцыферов // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66, № 12. – С. 46-48.
14. Antsyferov S.S. Forming the spectrum of thermal images of objects and recognizing their patterns / S.S. Antsyferov // J. Opt. Technol. – T. 66 (12). – P. 1047-1049.

Literatura

1. Ancyferov S.S. Iskusstvennyj intellekt. 2010. № 4. S. 330-336.
2. Ancyferov E.S. Materialy MNTK “Fundamental'nye problemy radiojelektronnogo priborostroenija – INTERMATIC-2004”. M.: MIRJeA. 2004. S. 193-195.
3. Ancyferov E.S. Materialy MNTK “Iskusstvennyj intellekt, intellektual'nye i mnogoprocessornye sistemy”. Taganrog-Doneck. 2004. T. 2. S. 63-67.
4. Ancyferov S.S. Materialy MNTK “Intellekutal'nye i mnogoprocessornye sistemy – IMS – 2005”. Taganrog-Doneck-Minsk. 2005. T. 1. S. 104-109.
5. Ancyferov S.S. Izvestija TRTU. 2005. № 100. S. 167-174.
6. Ancyferov S.S. Materialy MNTK “Iskusstvennyj intellekt. Intellektual'nye i mnogoprocessornye sistemy: II-IMS 2006”. Taganrog-Doneck-Minsk. 2006. T1. S 21-25.
7. Ancyferov E.S. Doklady MNTK “Fizika i radiojelektronika v medicine i jekologii – FRJeMJe 2004”. Vladimir: VGU. 2004. Kn 1. S 153-156
8. Ancyferov E.S. Fizika i radiojelektronika v medicine i jekologii – FRJeMJe 2004. Vladimir : VGU. 2004. Kn 1. S 156-159
9. Bertalanfi L. Obshhaja teorija sistem: kriticheskij obzor // Issledovanija po obshhej teorii sistem. M.: Progress, 1969. S 23-82
10. Holl A. Opyt metodologii dlja sistemotehniki. M. : Sov radio. 1975.
11. Afanas'ev V.G. Problema celostnosti v filosofii i biologii. M. : Mysl’. 1984.
12. Ancyferov S.S. Opticheskij zhurnal. 1977. T. 64. № 2. S. 35-37.
13. Ancyferov S.S. Opticheskij zhurnal. 1999. T. 66. № 12. S. 46-48.
14. Antsyferov S.S. Opt Technol. T 66 (12). P. 1047-1049.

S.S. Antsyferov

The General Principles of Construction and Laws of Functioning of Intellectual Systems

The problem of development of methodology for symbolist and connectivist intellectual systems is set in the article. That occurs due to an establishment of principles of construction and laws of functioning, as well as to definition of corresponding models of knowledge of such systems. It is offered to estimate dynamics of functioning of systems by means of entropy as a function of their condition.

Статья поступила в редакцию 31.05.2011.